

现代光学应用技术手册

下册

王之江 主 编

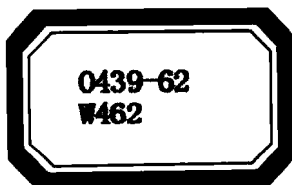
顾培森 副主编

Xiandai guangxue yingyong jishu shouce



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





现代光学应用技术手册

下 册

主 编 王之江
副主编 顾培森



机械工业出版社

《现代光学技术应用手册》分上、下两册，汇集了光学技术的基础、设计、加工及应用中所需的相关技术资料。

本书为下册，主要内容包括：光学零件制造工艺、光学薄膜技术、非球面加工工艺、特殊光学零件加工工艺、照相制版及复制工艺；测量误差、光学系统的几何光学参数测量、光度和色度测量、像差和像质测量、成像质量的主观评价、光电探测器及其应用；手机镜头、投影显示光学系统、汽车灯具设计、光电成像器件与应用、干涉仪、光谱仪器、高速摄影机、光学计量仪器、激光仪器和加工、靶场光电跟踪和测量设备、遥感技术及光学设备、印刷工业用光学设备与部件。手册中集有大量光学设计实例可供读者参考。

本书上册主要包括现代光学基础、显示技术、环境光学和技术及海洋光学和仪器、数码技术、光学信息处理、视光技术、光学软件应用技术等七部分内容。

本书可供光学工程技术人员在生产、设计、科研中使用，也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代光学应用技术手册. 下册/王之江主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-111-27769-9

I. 现… II. 王… III. 光学-技术手册 IV. 043-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 119761 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张沪光 责任编辑: 刘星宁 版式设计: 霍永明

责任校对: 魏俊云 封面设计: 赵颖喆 责任印制: 乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 38.75 印张 · 2 插页 · 1273 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27769-9

定价: 158.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

序 一

人类运用眼睛（人自身的光学仪器）来观察世界，继而认识世界、改造世界。现代科学研究表明，人获得的外部世界信息中，约有三分之二是靠人的眼睛来获得的。

可以这样说，人类所创造的光学仪器，其实是人的眼睛的延长，从而大大地提高了人的认识能力。当意大利物理学家伽利略（1564—1642）第一次用他发明的望远镜观察天空的时候，他发现木星及其卫星似是一个缩小了的太阳系，这为哥白尼（1473—1543）提出“太阳中心说”提供了科学的依据，并由此引起了宗教法庭对伽利略的审判。但宗教法庭的审判决不能阻止科学的发展进步。

望远镜可以观察到百亿光年的宇宙空间，从而极大地拓宽了人们对宏观世界的认识；光学显微镜可以观察到细胞、血球，而各种扫描探针显微镜甚至可以观察到原子的尺度，这使人们可以直接观察微观世界，表明了光学技术的进步对人类社会的发展有着不可或缺的作用。

科学技术是第一生产力。包括光学技术在内的各门科学技术，对经济社会正起着越来越重要的作用。其中，激光技术，从激光理论到技术发明再到广泛应用带来了社会生产力的重大变革，从而成为光科技史上的一个精彩案例。

1916年，爱因斯坦首先提出了光的受激辐射理论，并在理论上探讨了光的散射、折射、色散和吸收等过程。大约40年后，1958年美国科学家汤斯和肖洛提出激光器的详细技术方案。自此之后，各种技术方案纷纷产生。仅两年之后，1960年5月15日，美国科学家梅曼宣布获得了波长为 $0.6943\mu\text{m}$ 的激光，表明了第一台激光器的诞生。从此，激光技术呈现百花争艳的多彩局面。由于激光具有单色性好、相干性强、能量集中的特点，因而它在许多领域中得到了广泛的应用，并迅速普及到人们的日常工作和生活之中，成为当代人们工作、生活和娱乐不可缺少的科技手段，对国民经济和社会发展产生了巨大的影响。包括激光技术在内的现代科学技术在人类社会的文明进步中的“第一生产力”功能日益凸现出来。

中华民族对光学技术的发展曾做出了重大的贡献。早在战国时期，在墨子（公元前468—376）及他的弟子们所著的《墨经》一书中，就已经对光、物、影三者的关系做了精辟论述，并系统阐发了平面镜、凹面镜、凸面镜的成像规律。《墨经》中涉及光学技术的介绍仅有三百余字，但它却是世界上最早的系统的几何光学的“原本”。在之后的漫长岁月中，中国光学技术在世界科技史上也写下了不少可圈可点的篇章。

发展和应用现代光学技术的历史使命光荣地落在了当代光学人的身上。我们要紧追现代世界光学技术发展的潮流，加强光学基础研究，力争在某些领域中有所突破，以领先于世界先进水平；要进一步高度重视应用研究，不断缩短科学理论—技术突破—生产应用的周期，提高自主创新能力，形成具有自主知识产权的核心技术，为使中华民族屹立于世界民族之林增光添彩！

我们还要努力创造使现代光学技术能够广泛应用的客观环境，并提供各种便捷的工具手段。基于此，组织编写《现代光学应用技术手册》是一件很有意义的事。该手册立足现代、着眼应用，为有关高校、研究所及企业提供一本系统而又简明的工具书，从而为加快现代光学技术的发展贡献一份力量。

中国工程院院士

2009年8月

序 二

这是一本久盼了的《现代光学应用技术手册》。可以预见，它的出版发行必将受到一线科技工作者的欢迎。

手册是一种综合性的工具书。科技工作者在从事与光学技术有关的技术创新工作时，它可以发挥“一书在手，设计、工艺不愁”的作用。本书的结构科学合理，并将与光学技术密切相关领域的科技内容也归纳进来，从而为科技创新提供了便利。

本书所具有的综合性充分体现在由科学到技术直至工艺、仪器的高度集成上。现代光学基础知识凝聚了科学家们的智慧；而光学技术、光学零件制造工艺以及相关光学仪器，则将理论知识推向了工程实际。这种将科学理论到技术科学，再到工程应用，高度集成在一本手册之中，充分体现了当代科学技术的高度综合发展趋势。

众所周知，光学科技是一门古老而又现代的学科。在漫长的历史长河中，光学科技以其特有的光彩，为人类社会的发展做出了杰出的贡献。光学科技在科学技术的殿堂里有着无可取代的地位。但这也大大地增加了编写这样一本综合性手册的难度。任何现代的科学成果，都是历代科学家薪火相传的结晶。因此，本书立足现代，在充分显现现代光学科技成果的同时，也融合前人的光学科技成果；同时，本书将世界上包括我国科技工作者在内的技术创新成果，乃至光学零件制造工艺的精华，予以了充分的展示，从而完成由今及古、由科学到技术的集中展示。

光学科技不仅是人类认识世界的结晶，又给人类提供了认识世界和改造世界的不可或缺的工具。本书的编写出版又为我们从事光学技术的科研和创新提供了一本不可多得的工具书。但光学科技知识浩瀚复杂，使得本书的编写仅靠一两家单位难以完成。为此，组织了北京大学、中国科技大学、浙江大学、天津大学、苏州大学、上海大学、上海第二工业大学、西安邮电学院、华中科技大学、中国海洋大学等以及北京、上海、南京、华南的四个理工大学；同时，还组织了一批本领域中的顶尖科研院所，如中国科学院的上海、安徽、西安、成都的四个光机（电）所，还有中国电子科技集团公司第11研究所等一起参与；组织企业科技人员参加编写工作也成为该手册的一大亮点，其中有新添光电科技有限公司、云南光学仪器厂、中钞特种防伪科技有限公司等多家企业。由此，体现了编写队伍的综合性，从而也保证了本书内容的综合性。在编者中，有两院院士、资深学者，还有一大批中青年专家，他们都为本书的编写付出了辛勤的劳动。高水平的编者队伍，确保了本书的质量，我真诚地期望她的正式出版，能为我国光学科技事业的发展贡献自己的力量。



2009年8月

前 言

光学既是一门基础科学，又是一门发展很快的应用科学。把光的现象和规律应用于人类的生产活动中便形成了应用光学（或称为工程光学），并由此发展成为现代光学技术（或称为光学工程）。这是基础科学向应用科学发展的必然过程。正如王大珩院士所说的“光学老又新，前程端似锦”。

为了适应我国现代光学技术在各个领域的发展，我们组织编写了这本《现代光学应用技术手册》。本书在总结了编写《光学技术手册》和《实用光学技术手册》经验的基础上，同时又总结了近年来现代光学技术在各分支领域的新技术、新经验、新方法，如全息术及防伪技术、光谱技术、各种显示技术、环境光学和技术、海洋光学、光学软件技术及应用、光电探测器件和光电成像器件的应用、先进非球面加工工艺、晶体加工工艺、光学镀膜工艺、手机镜头设计、汽车灯具设计原理、电视机投影显示器设计、各种新型眼镜片设计、遥感技术、数码技术、光学信息处理、靶场光电跟踪和测量设备等，以及各类光学仪器和部件。

本书及时地反映了现代光学技术及其各分支领域的发展。以光学系统设计为例，在设计方法上介绍了目前国际上比较流行的美国 ZEMAX 光学软件，在具体内容上介绍了近 90 个光学系统设计实例。同时与美国 OSLO, CODEV 光学软件作了比较。

我国是一个光学零件生产大国，但是近年来关于光学零件制造工艺和测试方面的著作很少。而本书此部分内容是比较先进和实用的。而且作者在各自领域都是实践经验丰富的专家、学者。如非球面加工工艺为中国，作者投入了不少精力；晶体加工工艺作者终身从事本职工作，愿将经验奉献给读者难能可贵。

在编写过程中，我们遵循内容要“完整、实用、先进、有特色”这一宗旨制定了编写提纲，并进行选稿、组稿。本书共分上、下两册共 10 篇 48 章（其中上册分为 7 篇 25 章，下册分为 3 篇 23 章），主要内容包括现代光学基础、显示技术、环境光学和技术、数码技术、光学信息处理、视光技术、光学软件应用技术、光学零件制造工艺、光学测量和评价、工程光学及仪器。

本书由我国光学界老中青三代作者集体完成，他们中既有中国科学院上海光学精密机械研究所姜中宏院士，还有中国科学院安徽光学精密机械研究所所长刘文清教授，上海理工大学徐福侯教授，中国海洋大学刘智深教授，中国印钞造币总公司控股子公司中钞特种防伪科技有限公司前总经理，现任首席技术顾问张静方教授，中国电子科技集团公司第 11 研究所张心德高级工程师，原云南光学仪器厂副总工程师田金生研究员，志业光电精密技术公司董事长刘怀道高级工程师。更为难得的是 31 位实践经验丰富的资深专家、学者也参与了编写，他们是（按姓氏笔画为序）于美文、王宝、毛秀娟、史大椿、乔亚天、朱耆祥、朱维涛、余景池、何志华、沈海龙、李志超、李剑白、李锡善、吴震、范世福、周俊杰、陈林、陈文斌、陈俊人、陈祥熙、金丽芳、胡清、郑全利、赵力平、钟旭、姚海根、徐真善、曹天宁、黎新章、滕家炽。尤为可贵的是 31 位年富力强的中青年专家也参与编写，优势互补使本书生色不少，他们是（按姓氏笔画为序）马韬、方慧、白廷柱、刘建国、刘增东、吕纬阁、乔鞞鞞、应棋伟、宋俊慧、宋新新、李素文、李湘宁、杨钢锋、孟啸廷、张大伟、张荣福、郭培基、姜颖秋、郑继红、赵南京、唐义、徐成年、徐华斌、曹峰梅、曾琪明、焦健、阚瑞峰、蔡怀宇、滕琴、霍宏

VI 前 言

发、魏秀丽。他们分别来自北京大学、浙江大学、天津大学、苏州大学、中国科技大学、华中科技大学、上海理工大学、北京理工大学、华南理工大学、南京理工大学、西安邮电学院、上海大学、上海第二工业大学、上海出版印刷高等专科学校、中国科学院成都光电技术研究所、中国科学院西安光学精密机械研究所、江西省科学院、贵阳新添光电科技公司等 40 个单位。

承蒙中国计量学院院长、上海理工大学光电学院院长、上海光学仪器研究所所长庄松林院士和中国光学学会理事、浙江省光学学会副理事长毛磊先生作序。这是对我们的关心和支持。

本书在编写过程中得到了上海理工大学光电学院和宁波永新光学股份有限公司资助，特此表示衷心感谢。

本书在编写过程中也得到了苏州大学蒋鸣球院士，中国科学院安徽光学精密机械研究所龚知本院士，天津大学张以谟教授，上海理工大学党委副书记张仁杰教授，上海理工大学副校长兼上海出版印刷高等专科学校校长陈敬良教授，科研处倪争技副处长，光电学院副院长戴曙光教授、办公室何勇胜主任，上海第二工业大学校长胡寿根教授、原党委书记陈林教授，贵阳新添光电科技公司副总经理罗武勇高级工程师，中国仪器仪表行业协会光学仪器分会秘书长冯琼辉高级工程师，上海激光学会副理事长马仁勇教授，常务副秘书长邵兰星高级工程师，上海激光技术研究所所长王又良教授的关心和支持，同时也得到了（以姓氏笔画为序）王家道、刘文、季舒蔚、张峰、陈桂莲、施治平、凌德明、章锡安、黄卫佳、黄晓燕、傅鑫伯、熊广欣等同志的帮助，在此一并表示衷心感谢。

原《光学技术手册》编委会、编辑组、全体特约审稿人、全体统稿人以及责任编辑郑姗姗对该手册做出的贡献和留下的宝贵经验给了我们很大的帮助和启示，在此向他们表示崇高敬意和衷心感谢。

本书附录由顾振昕和顾培森编写。毛厚丰、章慧贤、郭迪礼等同志提供了资料。在此表示衷心感谢。

还有许多同志也对本书的编写出版给予了支持和帮助，恕不一一提名，在此一并表示感谢。

本书如有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

《现代光学应用技术手册》编辑组

2009 年 8 月

主 编 王之江

副主编 顾培森

编 辑 组

组 长 顾培森

副 组 长 郑 刚 杨永才 孟啸廷 顾振昕

顾 问 齐宽元 季剑平

全书统稿 顾培森

责任编辑 张沪光 刘星宁

本手册作者、特约审稿人名单

第 1 篇 现代光学基础

第 1 章 梯度折射率光学	乔桦桦	乔亚天
第 2 章 光的干涉	滕家炽	何志华
第 3 章 光的衍射	滕家炽	何志华
第 4 章 光的偏振		徐真善
第 5 章 光谱学与应用光谱技术		范世福
第 6 章 全息术及光学防伪技术	张静方	于美文
第 7 章 散斑		李志超
第 8 章 光学材料	姜中宏	杨钢锋

第 2 篇 显示技术

第 1 章 等离子显示技术		张荣福
第 2 章 液晶显示技术		孟啸廷
第 3 章 场致发光显示技术		张荣福

第 3 篇 环境光学和技术

第 1 章 环境光学基础	刘文清	刘建国	阚瑞峰
第 2 章 环境光学技术及应用	刘文清	李素文	阚瑞峰
	赵南京	魏秀丽	刘增东
第 3 章 海洋光学			刘智深

第 4 篇 数码技术

第 1 章 数码技术基本原理		朱维涛
第 2 章 数码技术的应用实例		朱维涛
	特约审稿人	毛厚豐

第 5 篇 光学信息

第 1 章 光学信息基础		蔡怀宇
第 2 章 光学信息处理		蔡怀宇
	特约审稿人	张以谟

第 6 篇 视光技术

第 1 章 新型光学镜片	黎新章	霍宏发	
第 2 章 视光技术应用实例	徐华斌	徐成年	滕琴
	特约审稿人	谭仲甫	
第 3 章 渐进加光镜片	马韬	余景池	

第7篇 光学软件应用技术

第1章	光学薄膜软件功能及应用	张大伟	吕玮阁
		特约审稿人	范正修
第2章	光通信仿真软件功能及应用		张荣福
第3章	ZEMAX 软件功能及应用	徐福侯	郑继红
		特约审稿人	庄松林
第4章	菲涅耳透镜的设计		李湘宁
		特约审稿人	贺莉清

第8篇 光学零件制造工艺

第1章	光学薄膜技术		张大伟
		特约审稿人	范正修
第2章	非球面加工工艺	郭培基	方慧
第3章	晶体加工工艺		余景池
第4章	特殊光学零件加工工艺		张心德
第5章	照相制版及复制工艺	钟旭	刘怀道
			陈林

第9篇 光学测量和评价

第1章	测量误差		史大椿
第2章	光电探测器件及其应用	田金生	唐义
第3章	光学系统的几何光学参数测量		沈海龙
第4章	光学系统光度和色度测量		毛秀娟
第5章	光学系统像差和像质测量	史大椿	赵立平
第6章	光学系统成像质量的主观评价		李剑白

第10篇 工程光学及仪器

第1章	用 ZEMAX 软件设计手机物镜	宋新新	宋俊慧	应棋伟
		特约审稿人		古成昌
第2章	投影显示光学系统设计		王宝	周俊杰
第3章	汽车灯具设计原理			陈祥熙
		特约审稿人		徐福侯
第4章	干涉仪			李锡善
第5章	光谱仪器			郑全利
第6章	光电成像器件与应用		白廷柱	曹峰梅
第7章	靶场光电跟踪和测量设备			朱耆祥
第8章	高速摄影机			陈俊人等
第9章	遥感技术及光学设备	曾琪明	焦健	金丽芳
第10章	激光仪器和加工		陈文斌	吴震
第11章	光学计量仪器			胡清
第12章	印刷工业用光学设备与部件			姚海根

目 录

序一
序二
前言

第 8 篇 光学零件制造工艺

第 1 章 光学薄膜技术	1	2.2.13 非球面复制成形技术	44
1.1 光学薄膜的制备技术	1	2.3 非球面加工工艺编制	46
1.1.1 物理气相沉积技术	1	2.3.1 主要工艺参数计算	46
1.1.2 化学气相沉积技术	6	2.3.2 粗加工参数确定	47
1.1.3 光学薄膜制备中的监控技术	10	2.3.3 加工工艺流程及非球面成形方式	48
1.2 不同应用领域的 光学薄膜	12	2.3.4 实例	48
1.2.1 激光薄膜	12	2.4 非球面检测	50
1.2.2 光通信用 光学薄膜	13	2.4.1 概述	50
1.2.3 超快薄膜	13	2.4.2 轮廓测量法	50
1.2.4 视 光学薄膜	14	2.4.3 样板法	51
1.2.5 极紫外和软 X 射线 薄膜	14	2.4.4 星点法、分辨率法	51
1.2.6 紫外下变频膜	15	2.4.5 刀口阴影法	51
1.3 光学薄膜的现代检测技术	15	2.4.6 哈特曼法	52
1.3.1 光谱	15	2.4.7 干涉法	53
1.3.2 弱吸收测量	16	参考文献	57
1.3.3 激光损伤阈值测试技术	16	第 3 章 晶体加工工艺	60
1.3.4 应力	17	3.1 晶体基础知识	60
参考文献	18	3.1.1 晶体的定义	60
第 2 章 非球面加工工艺	19	3.1.2 结点、行列与面网	60
2.1 非球面概述	19	3.1.3 晶胞和晶系	60
2.2 非球面加工方法	20	3.1.4 晶面和晶面指数	61
2.2.1 传统的研磨抛光技术	20	3.1.5 解理和硬度	61
2.2.2 非球面数控磨(车)削技术	21	3.2 晶体加工前的品质鉴定	63
2.2.3 非球面数控研抛技术	23	3.3 晶体的定向	65
2.2.4 应力抛光盘研抛技术	28	3.3.1 定向的意义	65
2.2.5 磁流变抛光技术	30	3.3.2 定向的方法	65
2.2.6 液体喷射抛光技术	32	3.4 晶体的切割	70
2.2.7 离子束抛光技术	34	3.4.1 外圆切割	70
2.2.8 等离子体辅助抛光及其衍生技术	37	3.4.2 内圆切割	71
2.2.9 应力变法	38	3.4.3 水线切割	71
2.2.10 光学玻璃非球面透镜模压成形技术	39	3.4.4 劈裂法切割	72
2.2.11 光学塑料非球面注射成形技术	42	3.4.5 超声切割	73
2.2.12 非球面真空镀膜法	43	3.4.6 其他切割方法简介	74
		3.5 晶体的研磨	74

3.5.1	机械研磨	74	3.10.3	抛光模表面硬壳的消除	123
3.5.2	化学研磨	78	3.10.4	光胶技巧	123
3.6	晶体的抛光	78	3.10.5	抛光液泡沫的消除	123
3.6.1	工艺特点	78	3.10.6	晶体再生应力的消除	123
3.6.2	抛光剂	79	3.10.7	晶体零件表面膜层的脱膜方法	123
3.6.3	抛光模	80	3.10.8	去除晶体抛光表面水印的方法	124
3.6.4	工艺条件	80	3.10.9	抛光剂沉积后的处理	124
3.6.5	抛光方法	81	3.10.10	金刚石微粉均匀性的处理	124
3.7	晶体加工中的安全防护	84	3.10.11	减少软质晶体切割崩边的方法	124
3.7.1	毒物的危害与防护	84	3.10.12	晶体开裂后的处理	125
3.7.2	射线的危害与防护	85	3.10.13	缩短晶体抛光时间的技术途径	125
3.8	典型晶体零件加工	85	3.10.14	清除晶体零件侧面氧化铈和红粉附着物的方法	125
3.8.1	红宝石激光棒的加工	85	参考文献	125	
3.8.2	Nd: YAG 激光棒及板条的加工	89	第4章 特殊光学零件加工工艺	127	
3.8.3	潮解晶体加工综述	91	4.1 薄形零件加工工艺	127	
3.8.4	KDP 电光 Q 开关的加工	95	4.1.1 薄形零件的“光圈变形”及其克服方法	127	
3.8.5	碘酸铍倍频器的加工	96	4.1.2 薄平板加工工艺	127	
3.8.6	一水甲酸铍倍频器的加工	97	4.1.3 薄透镜加工工艺	127	
3.8.7	冰洲石偏光棱镜的加工	98	4.2 固体激光器工作物质——激光棒的加工工艺	128	
3.8.8	双 45°LiNbO ₃ 电光 Q 开关的加工	101	4.2.1 圆套法加工激光棒	128	
3.8.9	石英晶体 1/4 波片和一级红的加工	102	4.2.2 用特殊夹具加工激光棒	129	
3.8.10	NaCl 窗口元件的加工	105	4.2.3 激光棒的多件同时抛光法	129	
3.8.11	单晶 Ge 光学零件的加工	106	4.2.4 激光棒的检测方法	130	
3.8.12	Nd: YLF 晶体零件的加工	106	4.3 光学投影屏的种类及制作方法	131	
3.9	晶体加工相关知识	110	4.3.1 光学投影屏的种类与特性	131	
3.9.1	晶体折光液的配制	110	4.3.2 光学投影屏的制作方法	131	
3.9.2	石英晶体旋向的判定	111	4.3.3 光学投影屏的质量检验	132	
3.9.3	晶体名称的读法	112	4.4 水准泡的加工工艺	132	
3.9.4	同种晶体的不同名称	113	4.4.1 水准泡的类型、种类与精度	132	
3.9.5	LiNbO ₃ 晶轴正负方向的判别	114	4.4.2 长水准泡的加工工艺	133	
3.9.6	非透明晶体零件平行度的测量	115	4.4.3 圆形水准泡的加工工艺	136	
3.9.7	加工图样中光圈数 N 与光源波长 λ 的换算	116	4.4.4 水准泡的检验方法	138	
3.9.8	若干晶体材料加工时特别注意事项	117	参考文献	140	
3.9.9	避免或减少棒状晶体零件加工中变形的的方法	118	第5章 照相制版及复制工艺	141	
3.9.10	晶体的键合	119	5.1 照相制版的基本工艺及设备	141	
3.9.11	晶面与晶面间夹角	121	5.1.1 基本原理	141	
3.10	实用技术	122	5.1.2 主要设备	142	
3.10.1	避免方形晶体零件研磨产生塌角的方法	122	5.1.3 基本方法	146	
3.10.2	配盘材料的选取	123	5.2 常用卤化银感光胶	149	
			5.2.1 概述	149	

5.2.2 火棉胶湿版	150	5.3.3 聚乙烯醇复制	154
5.2.3 火棉胶干版	150	5.3.4 光刻胶复制	155
5.2.4 超微粒干片	150	5.3.5 复制用光源	156
5.3 复制工艺	153	5.3.6 复制用夹具	157
5.3.1 复制工艺分类	153	5.3.7 典型零件的复制	157
5.3.2 虫胶复制	153	参考文献	160

第 9 篇 光学测量和评价

第 1 章 测量误差	161	3.1 焦距和截距的测量	202
1.1 综述	161	3.1.1 放大率法测量	202
1.1.1 测量及误差的基本概念	161	3.1.2 精密测角法测量	203
1.1.2 测量误差的类型	161	3.1.3 附加接筒法测量	203
1.1.3 有限次等精度直接测量数据的 处理	162	3.1.4 阿贝焦距仪法测量	204
1.1.4 非等精度直接测量的数据处理	163	3.1.5 附加已知焦距透镜法测量	205
1.1.5 粗大误差的检验	164	3.1.6 反转法测量	205
1.1.6 间接测量的误差传递	164	3.1.7 望远物镜焦距配对的方法	206
1.1.7 有效数字及计算规则	164	3.1.8 平面光学零件的最小焦距测量	208
1.2 对准误差与调焦误差	165	3.2 焦面位置和主点位置的确定	209
1.2.1 对准误差	165	3.2.1 焦面位置的确定	209
1.2.2 调焦误差	165	3.2.2 主点位置的确定	211
参考文献	166	3.3 光学系统的出瞳直径和眼点距离的 测量	212
第 2 章 光电探测器件及其应用	167	3.3.1 出瞳直径的测量	212
2.1 概述	167	3.3.2 眼点距离的测量	213
2.1.1 光子效应	167	3.4 光学系统放大率的测量	214
2.1.2 光热效应	167	3.4.1 望远系统视放大率的测量	214
2.2 真空光电发射器件	168	3.4.2 显微系统视放大率的测量	214
2.2.1 光阴极	168	3.5 光学系统视场的测量	215
2.2.2 光电子的倍增机构	172	3.5.1 望远系统视场的测量	215
2.2.3 真空发射器件的基本类型	173	3.5.2 显微系统视场的测量	216
2.2.4 真空发射器件的应用	178	3.6 相对孔径和数值孔径的测量	216
2.3 固体光导器件	180	3.6.1 照相物镜相对孔径的测量	216
2.3.1 光导探测器	180	3.6.2 显微物镜数值孔径的测量	216
2.3.2 光伏探测器件	184	3.7 望远系统视度的测量	218
2.3.3 固体光电器件与放大电路的 连接	194	3.7.1 用普通视度筒测量	218
2.3.4 固体光电器件的选用	194	3.7.2 用大量程视度筒测量	218
2.4 热敏探测器件	195	参考文献	219
2.4.1 热敏电阻测辐射热计型探测器	195	第 4 章 光学系统光度和色度测量	220
2.4.2 温差热电偶(堆)型探测器	197	4.1 杂散光测试	220
2.4.3 热释电型探测器	198	4.1.1 基本概念	220
参考文献	201	4.1.2 测试方法和原理	220
第 3 章 光学系统的几何光学参数 测量	202	4.1.3 望远系统杂散光测试	221
		4.1.4 摄影物镜杂散光测试	222
		4.2 透过系数(透过比、透过率)测试	222
		4.2.1 基本概念	222

4.2.2 测量方法	222	5.5.2 基本原理和物理基础	250
4.2.3 望远系统透过系数测试	223	5.5.3 测量原理及装置	251
4.2.4 摄影物镜透过系数测试	223	5.5.4 测量要点	255
4.2.5 光谱透过系数测试和彩色贡献	223	5.5.5 光学传递函数与像质评价	255
4.3 CCI 值评价色复现	224	参考文献	256
4.4 像面光照度分布测试	225	第 6 章 光学系统成像质量的主观	
参考文献	226	评价	257
第 5 章 光学系统像差和像质测量	227	6.1 光学系统成像质量主观评价的基本环节	
5.1 几何像差测量	227	及概念	257
5.1.1 哈特曼法测量几何像差	227	6.2 主观评价的信息容量指标	257
5.1.2 焦面法测量几何像差	228	6.3 基于 MTF 的主观像质判据	258
5.1.3 阴影法测量几何像差	229	6.3.1 系统调制传递锐度	258
5.1.4 物镜畸变的测量	230	6.3.2 级联调制传递锐度	258
5.2 波像差测量	233	6.3.3 频率坐标以对数表示的像质	
5.2.1 测量仪器	233	判据	258
5.2.2 典型干涉图	233	6.3.4 对数频率判据的简略型式	259
5.2.3 由干涉图求波差	235	6.3.5 视觉效率	260
5.2.4 用优良率评价成像质量	237	6.4 目视阈值对比的主观评价方法	261
5.2.5 剪切干涉术	237	6.5 带有噪声的图像的主观像质评价	262
5.2.6 点衍射干涉仪	242	6.6 彩色图像的主观像质评价	265
5.2.7 相位探测技术	242	6.7 各种主观像质评价指标的比较和	
5.3 星点检验	243	选用	266
5.3.1 检验装置	243	6.8 目视光学系统主观像质评价方法的	
5.3.2 光学系统的成像质量与星点衍		应用	267
射像	244	6.8.1 望远镜主观像质评价原理	267
5.4 分辨率测量	246	6.8.2 变衬比鉴别率测试装置的参数	
5.4.1 光学系统的理论分辨率	246	设计	268
5.4.2 分辨率图案	246	6.8.3 望远镜主观像质评价指标体系选择	
5.4.3 分辨率测量	247	及实测结果	269
5.5 光学传递函数的测量	248	参考文献	270
5.5.1 定义和常用术语	248		

第 10 篇 工程光学及仪器

第 1 章 用 ZEMAX 软件设计手机

物镜	271
1.1 概述	271
1.1.1 手机发展历史简介	271
1.1.2 照相机手机发展过程	271
1.1.3 手机镜头新技术简介	272
1.2 单片型手机物镜(镜头)设计	272
1.2.1 初始设计	273
1.2.2 中期优化	275
1.2.3 最终优化	276
1.3 两片型手机物镜设计	277
1.3.1 双高斯结构	278

1.3.2 光阑在镜片前面的 2P 结构	278
1.4 三片型手机物镜设计	279
1.4.1 初始优化	281
1.4.2 中期优化	281
1.4.3 最终优化	282
参考文献	283

第 2 章 投影显示光学系统设计

2.1 概述	285
2.2 投影显示的类型及比较	285
2.3 投影显示的相关技术	286
2.3.1 照明光学系统	286
2.3.2 LCOS 的共用光路	287

2.3.3 分色/合色光学系统	287	参考文献	319
2.3.4 LCOS 片的前置 $\lambda/4$ 波片和 PBS	288	第 4 章 干涉仪	321
2.3.5 液晶板、偏振片的高温褪偏 问题	288	4.1 与干涉仪相关的几个物理问题	321
2.4 投影显示光学系统中的部件	288	4.2 斐索干涉仪	322
2.4.1 照明光学系统	288	4.3 泰曼-格森干涉仪	324
2.4.2 空间光调制器	296	4.4 马赫-泽德干涉仪	326
2.4.3 投影物镜	296	4.5 剪切干涉仪	327
2.5 投影显示光学系统的典型设计方案	297	4.5.1 概述	327
2.5.1 三片式 LCOS 投影系统	297	4.5.2 横向剪切干涉仪	328
2.5.2 单芯片棱镜卷帘式投影系统	297	4.5.3 径向剪切干涉仪	332
2.5.3 色轮式 DMD 光学系统	298	4.5.4 旋转剪切干涉仪	334
2.5.4 三片式 LCD 投影系统	299	4.5.5 倒转剪切干涉仪	334
2.5.5 带复眼透镜的三芯片 LCOS 投影 系统	299	4.6 多光束干涉仪	335
2.6 投影显示光学系统的评价与检测	299	参考文献	337
第 3 章 汽车灯具设计原理	303	第 5 章 光谱仪器	338
3.1 汽车灯具原理及国家标准	303	5.1 概述	338
3.1.1 汽车前照灯原理及实现方法	303	5.2 发射光谱仪器	339
3.1.2 汽车雾灯原理	303	5.2.1 典型发射光谱仪器	340
3.1.3 汽车信号灯原理	303	5.2.2 光谱仪的照明系统	347
3.1.4 汽车照明灯具技术的发展	303	5.2.3 光谱激发光源	349
3.1.5 汽车灯具的国家标准	304	5.3 分光光度计	351
3.2 汽车灯常用光源及其发光原理	305	5.3.1 分光光度法基础	351
3.2.1 白炽灯	305	5.3.2 典型分光光度计	351
3.2.2 卤素灯	306	5.4 计算机在光谱仪器中的应用	363
3.2.3 放电灯	306	参考文献	365
3.2.4 LED	307	第 6 章 光电成像器件与应用	366
3.3 自由曲面汽车车灯设计原理	307	6.1 光电成像器件	366
3.3.1 自由曲面汽车车灯设计软件	308	6.1.1 像管	366
3.3.2 自由曲面汽车车灯设计流程图	310	6.1.2 摄像管	370
3.3.3 自由曲面汽车车灯设计步骤	310	6.1.3 固体成像器件	378
3.3.4 自由曲面汽车车灯设计实例	311	6.2 光电成像系统及其应用	395
3.4 投射式汽车车灯设计思想	312	6.2.1 直视型光电成像系统	395
3.4.1 投射式汽车车灯结构原理及 先进性	312	6.2.2 电视型成像系统	401
3.4.2 投射式汽车车灯的设计计算	313	6.2.3 红外(热)成像系统	405
3.4.3 投射式汽车车灯设计实例	315	6.2.4 特殊用途的成像技术	411
3.5 HID 与卤素灯在配光设计方面的 区别	316	参考文献	413
3.5.1 HID 汽车前照灯的特点	316	第 7 章 靶场光电跟踪和测量设备	414
3.5.2 HID 汽车前照灯的配光要求	316	7.1 概述	414
3.5.3 HID 在配光设计方面的区别	318	7.2 靶场光电跟踪和测量设备的工作原 理、结构和性能	415
3.6 LED 在汽车前照灯方面的应用	319	7.2.1 弹道或轨道测量设备的工作原 理、结构和性能	415
		7.2.2 空间目标运动姿态及高速事件测 量设备的工作原 理、结构和性能	420

7.2.3 空间目标光谱辐射及光度测量设备 的工作原理、结构和性能	423	10.1.3 激光干涉仪的干涉系统	478
7.3 靶场光电跟踪和测量设备设计原理和 方法	425	10.1.4 激光干涉仪的信号接收与处理 系统	481
7.3.1 靶场光电跟踪和测量设备总体 设计	425	10.1.5 激光干涉测长仪的原理与误差	481
7.3.2 靶场光电跟踪和测量设备总体设计 和主要技术指标的分析计算	426	10.1.6 1m 激光测长机	483
参考文献	449	10.1.7 双频激光干涉仪	483
第8章 高速摄影机	450	10.1.8 激光干涉比长仪	484
8.1 间歇式高速电影摄影机	451	10.1.9 激光量块干涉仪	485
8.1.1 工作原理和特点	451	10.1.10 激光精密定位干涉系统	486
8.1.2 高速间歇输片机构	451	10.1.11 激光丝杆动态测量干涉仪	486
8.2 棱镜补偿式高速电影摄影机	453	10.1.12 激光平面干涉仪	486
8.2.1 棱镜补偿原理和快门	453	10.1.13 激光球面干涉仪	487
8.2.2 几种典型的国产电影摄影机	454	10.1.14 激光波面干涉仪	487
8.3 转镜式高速摄影机	455	10.1.15 激光干涉共模抑制表面轮 廓仪	488
8.3.1 工作原理和特点	455	10.1.16 激光地震仪	489
8.3.2 基本参数	456	10.1.17 激光应变仪	490
8.3.3 结构参数	458	10.1.18 激光干涉测振仪	490
8.3.4 转镜装置	459	10.2 激光测速仪	492
8.3.5 快门	459	10.2.1 激光多普勒流速计	492
8.4 皮秒 (ps) 变像管高速摄影机	459	10.2.2 激光干涉测速仪	493
参考文献	461	10.2.3 激光散斑测速仪	493
第9章 遥感技术及光学设备	462	10.2.4 激光多普勒转速计	494
9.1 遥感原理	462	10.2.5 光电旋转仪	494
9.1.1 概述	462	10.2.6 激光陀螺	494
9.1.2 遥感的物理基础	466	10.3 激光测径仪	496
9.2 光学遥感器	467	10.3.1 激光衍射测径仪	496
9.2.1 分类	467	10.3.2 激光扫描测径仪	498
9.2.2 构成	468	10.3.3 投影放大法激光测径仪	499
9.2.3 特性	468	10.3.4 能量比较法激光测径仪	499
9.3 典型光学遥感器	469	10.4 激光准直仪	500
9.3.1 数字航摄影相机	469	10.5 激光加工	501
9.3.2 光机扫描仪	470	10.5.1 激光与物质相互作用的物理 过程	501
9.3.3 推帚式扫描仪	470	10.5.2 影响激光加工的主要因素	501
9.3.4 成像光谱仪	471	10.5.3 激光焊接机	504
9.3.5 立体相机	472	10.5.4 激光打孔机	506
9.3.6 激光雷达	473	10.5.5 激光动平衡机	507
9.3.7 野外光谱仪	474	10.5.6 激光切割机	508
参考文献	475	10.5.7 激光热处理	510
第10章 激光仪器和加工	476	10.5.8 激光加工在电子元器件制造中的 应用	510
10.1 激光干涉计量仪器	476	参考文献	510
10.1.1 激光干涉仪的基本组成及型式	477	第11章 光学计量仪器	512
10.1.2 激光干涉仪的光源	477	11.1 端度量仪器	512

11.1.1	数字式立式测长仪	512	11.7.2	丝杠动态检测仪	541
11.1.2	万能测长仪	513	11.7.3	凸轮轴检测仪	542
11.1.3	投影立式光学计	514	11.7.4	因瓦尺检测仪	544
11.1.4	数字式立式光学计	515	参考文献		544
11.1.5	光栅测长机	515	第12章 印刷工业用光学设备与		
11.1.6	激光测长机	516	部件		546
11.2	工具显微镜	519	12.1	激光照排机与直接制版机	546
11.2.1	数字式大型工具显微镜	519	12.1.1	通用基本部件	546
11.2.2	万能工具显微镜	521	12.1.2	光学成像系统结构	546
11.2.3	工具显微镜的测量技术	522	12.1.3	成像系统结构比较	549
11.2.4	图像处理万能工具显微镜	524	12.2	静电照相成像光源	549
11.2.5	CNC 光学坐标测量机	524	12.2.1	LED	549
11.3	投影仪	525	12.2.2	激光与LED成像	551
11.3.1	小型投影仪	526	12.3	静电照相成像打印机与数字印刷机	552
11.3.2	小型投影仪的工作台传动系统	526	12.3.1	概述	553
11.3.3	数显箱	527	12.3.2	成像系统	553
11.3.4	投影仪寻边器	528	12.3.3	彩色数字复印机/打印机系统	555
11.3.5	大型投影仪	529	12.4	某些特殊问题	559
11.4	角度及平直度计量仪器	529	12.4.1	光点(斑)形状的合理性 问题	559
11.4.1	光学倾斜仪	529	12.4.2	光束强度分布	560
11.4.2	自准直仪	530	附录		562
11.4.3	测角仪	530	附录A	光亮度单位换算表	562
11.4.4	数字式分度头	531	附录B	光照度单位换算表	562
11.5	视频测量仪	532	附录C	波长单位换算表	562
11.5.1	图像采集及处理系统	533	附录D	日本HOYA光学玻璃谱线折 射率	563
11.5.2	CCD与数字化图像	533	附录E	德国SCHOTT光学玻璃谱线 折射率	570
11.5.3	图像的几何元素边缘提取及亚像素 细分技术	533	附录F	国产光学玻璃常用激光谱线 折射率	582
11.5.4	被采集点的坐标计算及标定 技术	534	附录G	光学塑料谱线折射率	584
11.5.5	图像采集方式	535	附录H	光学塑料ZEONEX谱线折射率	585
11.5.6	图像焦面的软件识别技术	535	附录I	眼镜镜片屈光度及其偏差	585
11.5.7	图像软件界面的操作功能	535	附录J	傅里叶变换物镜	586
11.5.8	几种视频测量仪	536	附录K	F θ 透镜	590
11.6	表面形貌及表面粗糙度计量仪器	537	附录L	数码照相机分辨率的测量	592
11.6.1	激光探头	538	附录M	体积显微镜光学和力学性能	592
11.6.2	触针式轮廓仪	538	附录N	显微镜物镜	593
11.6.3	光学探针式轮廓仪	539	附录O	常用英文缩写字母中英文注译	594
11.6.4	干涉显微镜	540			
11.7	专用光学计量仪器	540			
11.7.1	刀具检测仪	540			